

平成 21 年 4 月 13 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2006 年度 ～ 2008 年度

課題番号：18360270

研究課題名 (和文)

損傷制御型コア壁構造システムの研究

研究課題名 (英文)

AN STUDY ON DAMAGE-FREE REINFORCED CONCRETE SHEAR WALLS  
WITH DE-BONDED DIAGONAL REINFORCEMENTS

研究代表者

神奈川大学・工学部・教授 島崎 和司 00343632

研究成果の概要：

コア耐震壁を有する構造システムは、地震力の大半をコア耐震壁で負担し、境界梁で地震エネルギーを吸収することで、その他の部材の損傷は低減される。

コア耐震壁下層部では、大きなせん断力、曲げモーメントが作用する。そのため、壁部の損傷が大きくなることが考えられる。これまで耐震壁の性能向上を目指して、多くの研究がなされているが、損傷低減を目的としたものは少ない。

本研究では、損傷低減化とプレキャスト化を目標に、

- i. せん断クラック減少による剛性低下防止、
- ii. 曲げクラックの低減、
- iii. 施工性、汎用性の向上、

の3つの要求レベルを想定し、デボンド X 型配筋を用いた損傷低減型耐震壁の可能性を検討した。その結果、デボンド X 型配筋を有する損傷低減型耐震壁の有効性と限界を示せた。

今後はコンクリートの圧縮強度、拘束効果による耐荷機構の詳細の研究を進め、一般性のある最大耐力評価法を検討し、設計式として提案していく必要がある。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
18 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
19 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
20 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
総計	8,300,000	2,490,000	10,790,000

研究分野：建築学

科研費の分科・細目：建築構造・材料

キーワード：鉄筋コンクリート構造、損傷制御、耐震壁、付着、X 型配筋、プレキャスト

## 1. 研究開始当初の背景

建物の構造設計において、性能設計が志向されるようになり、また、阪神大震災以降、大地震後も建物を使えるという要求が強くなってきている。地震を水平力として捉え、外力に抵抗する要素としてコアシステムを用いる構法は古くから実用化され、多くの構造物に使用されている。水平力をもっぱらコアで負担し、それ以外の部材は鉛直力のみを負担させようとする場合、RC 壁コアと CFT+フラットプレート構造を組み合わせたハイブリッド (HB) 構造は、それぞれの特徴を最大限生かした最適な構造形式のひとつといえる。この構造形式の場合、コア壁部分で水平力のほとんどを負担し、地震時のエネルギーもコア部分で吸収することになる。このエネルギーは、コア壁脚部と、各層でコア壁をつなぐ境界梁の塑性変形により吸収することとなる。大地震後に建物を使えるためには、このコア部分の RC 部材と、周辺架構部の柱-スラブ接合部の修復性が良好である事が必要である。

コア壁部分については、超高層 RC 構造に適用するために、建設会社においてその立体的挙動を明らかにしようという研究が行われ、その結果が評価されているが、超高層構造ということで高強度材料が用いられ、一般的に想定する大地震時での損傷が少なく、一般的な建物にその結果を適用することは出来ない。また、アンボンド PC を用いたシステムなどが提案され、損傷の少ないコア壁の可能性が示されているが、損傷制御という観点からの研究は少ない。このほかにも、転倒降伏耐震壁や、降伏機構分離型鉄筋コンクリート造連層耐震壁などが提案されているが、エネルギー吸収能力に対応したコストや損傷制御という観点から解決すべき問題は多い。

## 2. 研究の目的

本研究では、損傷制御型構造システムとしてのコア壁+フラットプレート構法において、これまでの研究で残されたコア耐震壁に対し、損傷低減型の構造形式を提案し、大地震

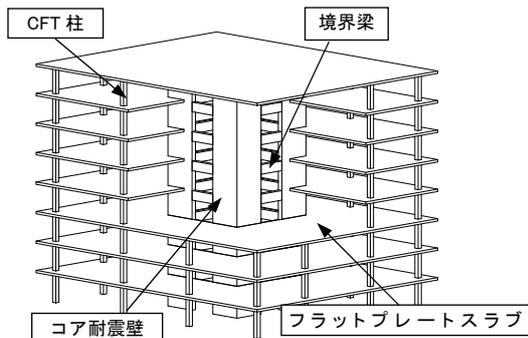


図1 プロトタイプ建物

後でも財産価値を失わない構造システムを提案することを目標とする。

図1に示すようなコア耐震壁を有する構造システムは、地震力の大半をコア耐震壁で負担し、境界梁で地震エネルギーを吸収することで、その他の部材の損傷は低減される。コア耐震壁下層部では、大きなせん断力、曲げモーメントが作用する。そのため、壁部の損傷が大きくなることが考えられる。曲げクラックは、地震後に建物の自重により閉じるため、ある程度のクラックは許容されるが曲げモーメントが大きくなり残留クラック幅が拡大すると補修が必要となる。また、せん断クラックは、補修によるせん断剛性の回復が期待できないため、せん断クラックを低減させることが望ましい。

これまで耐震壁の性能向上を目指して、45度配筋や PCa とプレストレストとの組み合わせ、壁主筋の付着除去などが提案されている。しかし、これらの多くは、靱性能の向上を目的としているため、損傷低減を目的としたものは少ない。

本研究では、損傷低減化とプレキャスト化を目標に、

- i. せん断クラック減少による剛性低下防止、
  - ii. 曲げクラックの低減、
  - iii. 施工性、汎用性の向上、
- の3つの要求レベルを想定し、境界梁で損傷低減効果の認められたデボンドX型配筋を用いた損傷低減型耐震壁の可能性を検討する。

## 3. 研究の方法

### 3.1 試験体概要

試験体は全部で8体であり、代表的な試験体概要を図2、試験体一覧を表1に示す。試験体は、図1に示したプロトタイプ建物の予備解析より、コア壁脚部のモーメント反曲点位置を求め、下部2.5層分を取り出した。約1/5スケールで断面120mm×900mm、高さ1800mmとし、試験体上下に主筋定着用スタブを有する。コンクリートは Fc36 とし、鉄筋は SD345 相当品とした。各試験体の特徴を以下に述べる。

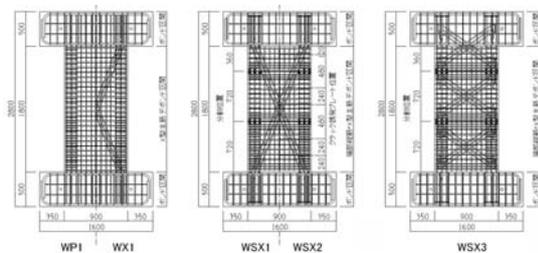


図2 試験体概要

WP1は、一般的な平行配筋による耐震壁の試験体である。



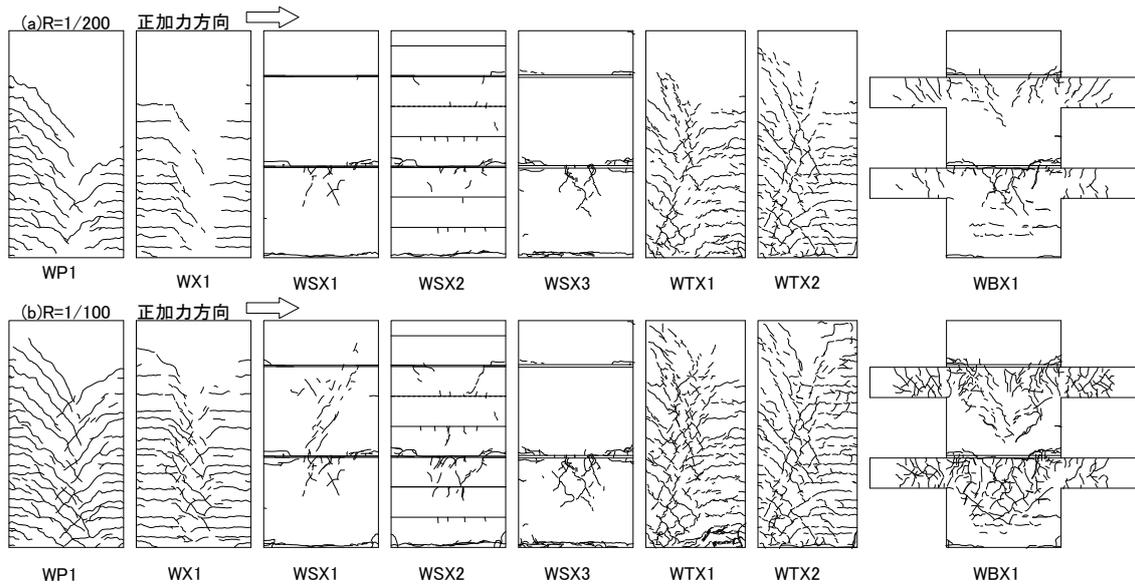


図4 損傷状況

クラック幅は 0.2mm となった。R=1/100 で圧縮側被りコンクリートの剥離がみられ、R=1/33 で脚部圧壊が生じた。R=1/200 のせん断クラックの状況を見ると、補修にはかなりの労力を要し、またせん断剛性の回復は難しいと思われる。

WX1 は R=1/100 では、曲げクラックが中央部に進展し中央部のごく狭い領域にせん断クラックが生じた。このときのピーク時のクラック幅は 0.05mm となった。その後の挙動は、WP1 と同様であった。R=1/200 の変形程度では、曲げクラックは自重により閉じるため、そのまま再利用が可能と思われる。R=1/100 程度の変形になると、補修にかなりの労力が必要となるとと思われる。

WSX1、WSX2、WSX3 は、R=1/100 まで大きなせん断クラックは見られなかった。曲げクラックは、脚部と接合部に集中し、R=1/100 載荷後の残留曲げクラック幅は、WSX1、WSX2 とともに脚部で 0.4mm 程度、WSX3 は、0.5mm 程度となった。R=1/200 の変形程度では、そのまま再利用が可能と思

われる。R=1/100 程度の変形になると、脚部の曲げクラックの残留幅が大きくなり軽微な補修が必要と考えられる。

WTX1 は R=1/200 で脚部の被りコンクリートの剥離、R=1/100 で端部の圧壊が始まり、載荷の繰り返しにより端部 D6 鉄筋が座屈、破断し、壁脚部中央部まで圧壊が進んだ。WTX2 は、で R=1/100 で脚部の被りコンクリートの剥離、R=1/67 で中央部に圧壊が生じた。WTX1、WTX2 とともに、R=1/200 の変形でも補修の労力は多大なものになると考えられる。

WBX1 は、想定したプロトタイプ建物のせん断スパン比に比べ、せん断に対して非常に厳しい状況になっており、R=1/200 変形時でも 1 層目、2 層目でせん断クラックの減少は見られなかった。R=1/100 で分割部と梁の接合部に圧壊が生じ、サイクルを増すことで端部縦筋が座屈を起こしたため、この変形レベルでは補修は困難となると考えられる。

#### ②水平力-壁頂部変位関係

図5に水平力-壁頂部変位関係を示す。図

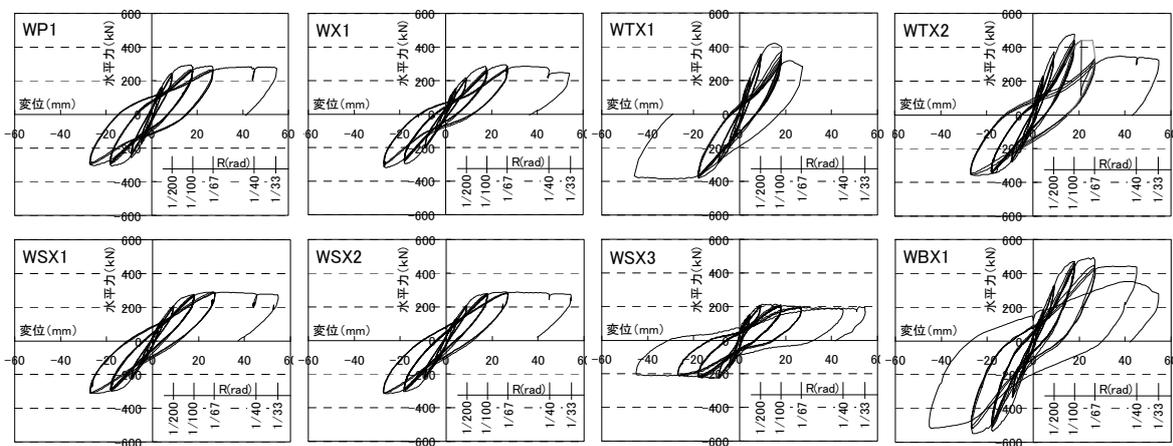


図5 水平力-壁頂部変位

表 2 最大耐力・算定値

試験体	WP1	WX1	WSX1	WSX2	WSX3	WBX1	WTX1		WTX2	
							圧縮	引張	圧縮	引張
最大耐力Pmax(kN)	293	293	290	288	213	494	378	419	359	478
算定値Pu(kN)	272	298	295	295	190	461	499	578	489	600
Pmax/Pu	1.08	0.98	0.98	0.98	1.12	1.07	0.76	0.72	0.73	0.80
補正算定値P'u(kN)	-	265	256	256	-	-	451	530	441	553
Pmax/P'u	-	1.11	1.13	1.13	-	-	0.84	0.79	0.81	0.86

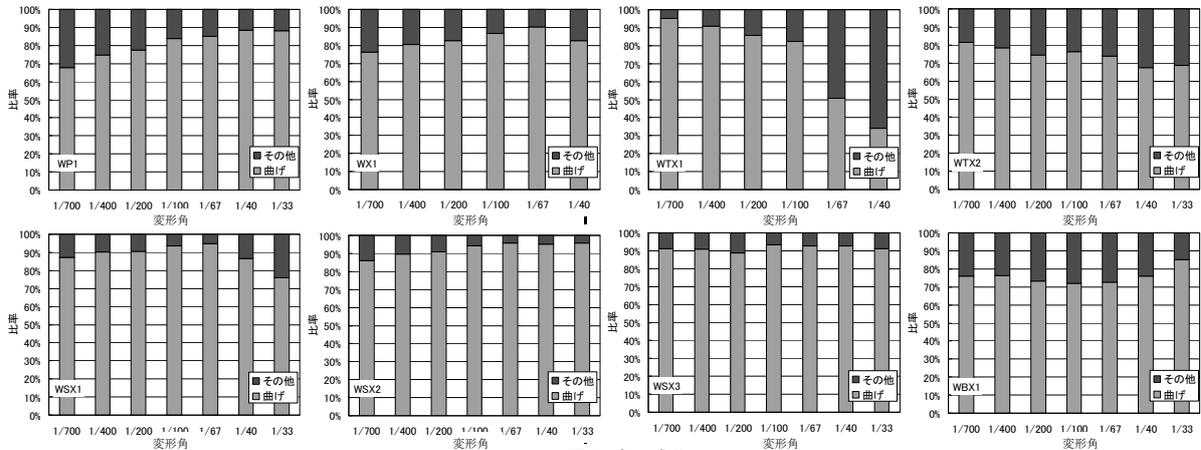


図 6 変形成分

中の水平力は、各アクチュエーターの傾きによる  $P-\delta$  効果を補正した値となっている。WP1 は  $R=1/100$  で最大耐力となり、その後、徐々に耐力は低下した。WX1、WSX1、WSX2 は、 $R=1/67$  まで最大耐力を保持し、大変形時でも耐力を保持した。WSX1、WSX2 は、最後まで軸力を保持していたことから変形能力も十分であるといえる。WSX3 は、 $R=1/100$  をピークに徐々に低下した。

WTX1 は、 $R=1/100$  で耐力の低下が見られ、 $R=1/67$  の第 1 サイクルで急激な耐力低下が見られた。そのため、直交壁圧縮側加力を  $R=1/40$  として実験を終了した。WTX2 は、 $R=1/100$  で非拘束部の被りコンクリートの剥離が始まり、 $R=1/67$  で非拘束部の D13 鉄筋が座屈し始めたため、耐力が著しく低下した。

WBX1 は、 $R=1/67$  で最大耐力となったが接合部の圧壊が進み、端部縦筋が座屈したため、 $R=1/67$  以降で耐力の低下が見られる。

## 2) 実験結果の検討

### ①最大耐力算定法

X 型配筋壁の最大耐力  $P_u$  を平行配筋の曲げ終局耐力  $pPu$  と X 筋の降伏耐力の水平成分  $xPy$  の和として算定した場合、(1)式となる。

$$P_u = pPu + xPy \quad (1)$$

表 2 に示す試験体の最大耐力を見ると X 型配筋壁は最大耐力に達していない。これは、引張側が降伏に達する  $R=1/100$  においても圧縮側 X 筋は降伏歪の 50% 程度となるため、本研究では、圧縮側 X 筋の降伏耐力に低減係数として、0.5 を乗じて、(2)式で算定できると考えられる。

$$P_u = pPu + txPy + n \times cxPy \quad (2)$$

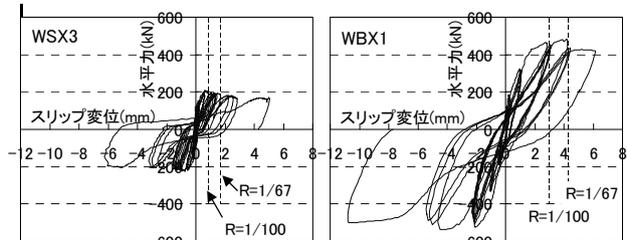


図 7 スリップ性状

立体耐震壁では、直交壁圧縮時にコンクリート断面積が大きく、圧縮ひずみが小さくなるため、X 筋が働かない。また、引張時には、コンクリートが先に耐力に達してしまうため X 筋の効果が得られない。立体耐震壁など直交壁が大きい場合には、(2)式の適用に限界がある。

### ②変形成分

試験体両端部で計測した鉛直変位から計測区間の平均曲率を求め、その積分から曲げ変形を算定した。全体変形から曲げ変形の差をせん断変形やスリップ変形などによるその他の変形とした。図 6 に  $R=1/100$  での全 11 体の試験体の変形成分を示す。図 7 には、WSX3 と WBX1 の脚部と接合部での水平変位と鉛直変位から求めたスリップ変位を示す。WP1 は、その他の割合が 25% 程度となっているのに対し、X 型配筋のほとんどが 10% 程度と曲げ変形が増加していることがわかる。しかし、直交壁や境界梁がある場合、曲げ変形成分の増加は見られない。図 7 のスリップ性状を見ると  $R=1/100$  での WSX3 のすべり量は、1.2mm 程度で全体変形の 7% 程度となっているため、その他の変形成分と比較するとすべり変形が支配的であることがわかる。

### ③エネルギー吸収能力

X型配筋を有する試験体は、変形角R=1/100までは、平行配筋壁と同等の値を示している。しかし、縦筋が降伏するR=1/100以降はX型配筋を有する試験体WX1において、X型主筋が降伏しないため、履歴形状が逆S字型を示し、WP1よりエネルギー吸収能力が低い結果となっている。

### 3) まとめ

本研究では、コアタイプ建物の耐震壁の損傷を低減し、補修性が良好な部材の開発を目標に、デボンドX型配筋を用いた損傷低減型耐震壁に関する実験的研究を行い、次の知見を得た。

- ①コア耐震壁にデボンドX型配筋を用いることによって、パネル中央部でのせん断クラックの低減が可能となる。R=1/200程度の変形までは、曲げ変形が卓越して、せん断クラックは微少であり、残留曲げクラック幅も過大ではないので、そのまま再利用可能と考えられる。
- ②層毎にパネル化し、パネル内で端部縦筋もデボンドすることで、せん断クラックやパネル内の曲げクラックが生じず、地震後の修復が容易な耐震壁とすることができる。R=1/200程度の変形までは、そのまま再利用可能、R=1/100程度までは、脚部の曲げクラックの充填程度の軽微な補修で再利用可能と考えられる。
- ③本研究の試験体の範囲での単体の耐震壁の最大耐力は、圧縮側X型主筋の降伏耐力に低減係数0.5を乗じたX型配筋ブレースと平行配筋壁との和として算定することが可能である。

以上、デボンドX型配筋を有する損傷低減型耐震壁の有効性と限界を示せた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9件)

熊谷仁志、島崎和司、林 静雄：中央部に鋼材ダンパーを有するRC境界梁に関する実験的研究、低降伏点鋼を用いた境界梁ダンパーに関する研究 その1、日本建築学会構造系論文集、NO.638 pp.755～763 2009年4月(査読有り)

島崎和司：許容せん断耐力を指標としたせん断クラック幅の評価、日本建築学会技術報告集、No.29, pp.139～142, 2009年2月(査読有り)

山口卓巳、島崎和司、佐藤宏貴：CFT柱一フラットプレート接合部の鉛直耐力に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集、No.614 pp.163～170 2007年4月(査読有り)

島崎和司：低損傷アンボンドX型配筋RC梁の開発、日本建築学会構造系論文集、No.610, pp.139～144, 2006年12月(査読有り)

島崎和司：アンボンドX型配筋RC梁の損傷評価、日本建築学会構造系論文集、No.604, pp.119～126, 2006年6月(査読有り)

Kazushi Shimazaki : Damage-Free Reinforced Concrete Buildings with Good Repairability, Sixth International Conference on Urban Earthquake Engineering, pp.225-230, Tokyo, 2009(査読無し)

K. Shimazaki : Reinforced Concrete Shear Walls with De-Bonded Diagonal Reinforcements for the Damage-Less Reinforced Concrete Building, 14th World Conference on Earthquake Engineering, Paper ID 05-03-0017, Beijing, China, 2008(梗概査読有り)

T. Yamaguchi, K. Shimazaki, H. Satoh, : An Experimental Study on Vertical Load Resistance of CFT Column-Flat Plate Joints, 14th World Conference on Earthquake Engineering, Paper ID 05-06-0022, Beijing, China, 2008(梗概査読有り)

岩田衛、島崎和司：損傷低減型建築構造の研究、神奈川大学工学部報告、No.46、Page62-64、2008(査読無し)

[学会発表] (計 22件)

平田寛治、島崎和司、五十嵐泉：デボンドX型配筋を用いた損傷低減型耐震壁の実験的研究 その4 境界梁の影響について、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、pp.359-360、2008年9月(以下略)

[その他]

研究成果に関するwebページ

<http://shimazaki.arch.kanagawa-u.ac.jp/kenkyu/paper.html>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

神奈川大学・工学部・教授 島崎 和司  
00343632

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし